



Cezary Dębek*
Robert Stępkowski*
Jacek Magryta*
Tadeusz Kondlewski**

Analiza i zastosowanie stałych produktów niskociśnieniowej pirolizy całych opon samochodowych

W bezcisnieniowym procesie pirolizy całych opon samochodowych otrzymano: węgiel i olej popirolityczny, stal oraz gaz. Węgiel popirolityczny scharakteryzowano i zbadano pod kątem zastosowania jako adsorbenta. Węgiel popirolityczny poddano karbonizacji i aktywacji parą wodną w temperaturach 750-900°C w czasie 1-2 h. Oznaczono, iż karbonizacja i aktywacja parą wodną powoduje znaczne zwiększenie objętości porów badanych materiałów do ponad 1,1 cm³/g i powierzchni do około 600 m²/g. Stwierdzono, że otrzymane sorbenty wykazują wysoką skuteczność w usuwaniu z roztworów wodnych benzenu, p-chlorofenolu, błękitu metylenowego i czerwieni Kongo, zbliżoną do wydajności dostępnych w handlu rodzajów węgla aktywnego (np. Noritu).

Słowa kluczowe: piroliza, recykling, opony całe, olej popirolityczny, węgiel, adsorbent, karbonizacja, aktywacja

The analysis and application of liquid and solid products of low pressure pyrolysis of whole passenger tyres

The post-pyrolytic coke and oil, steel and gas were obtained by means of low pressure pyrolysis technique of whole car tyres. The post coke were characterized and an attempt of application of these product, as an adsorbent was made. The obtained post-pyrolytic coke was undergo further carbonization and activation by water vapour at 750-900 °C and at activation time 1-2 h. It was found that carbonization and water vapour activation results in considerable increase in pore volume of the sorbents (up to 1.1 cm³/g) and specific surface areas up to 600 m²/g. The obtained sorbents have a good sorption capacity for benzene, p-chlorophenol, methylene blue and Congo red. Removal efficiency of aromatics and dyes of the best sorbents was similar to the commercial active carbon (Norit).

Key words: pyrolysis, recycling, whole tyres, post-pyrolytic oil, carbon, adsorbent, carbonization, activation

1. Wstęp

Odpady gumowe stanowią poważny problem ekologiczny i ekonomiczny, a skalę tego problemu można oszacować na podstawie danych dotyczących wielkości produkcji wyrobów gumowych, wynoszącej w skali światowej około 18 mln ton rocznie [1]. Około 80% poeksploatacyjnych wyrobów gumowych stanowią zużyte opony. W krajach UE w 2000 roku masę zużytych opon szacowano na 2,5 mln ton [2].

Znanych jest wiele metod utylizacji i recyklingu zużytych opon, zalicza się do nich: bieźnikowanie, recykling energetyczny, regenerację, recykling materiało-

wy, recykling produktowy oraz pirolizę, polegającą na rozkładzie termicznym odpadów gumowych bez dostępu tlenu, w temperaturze 450-750°C. Ze względu na wysokie koszty urządzeń oraz małą wartość użytkową otrzymywanych produktów piroliza nie ma większego znaczenia przemysłowego. Jednak otrzymane produkty ciekłe mogą mieć zastosowanie jako komponenty paliw płynnych, powstały węgiel zaś może być zastosowany jako tani wypełniacz mieszanek gumowych lub po odpowiedniej obróbce może zastępować węgiel aktywny w mniej wymagających zastosowaniach.

W literaturze można spotkać opisy różnych technik prowadzenia pirolizy [3-19]. Proces ten prowadzi się w układzie gaz – ciało stałe, ciecz – ciało stałe lub też pod zmniejszonym ciśnieniem, najczęściej periodycznie. Zwykle poddaje się pirolizie opony rozdrobnione i pozbawione metalowych elementów konstrukcyjnych. Etap przygotowania jest procesem kosztownym ener-

* Instytut IMPiB, Oddział Zamiejscowy Elastomerów i Technologii Gumy w Piastowie

** PPHU Konmech, Bojano





getycznie i inwestycyjnie, wymaga specjalnej instalacji do rozdrabniania całych opon.

W literaturze w zasobach elektronicznych nie ma informacji dotyczącej pirolizy całych opon samochodowych. Szersze badania nad tym zagadnieniem nie były podejmowane najprawdopodobniej ze względu na przewidywaną małą efektywność energetyczną takiego procesu, wynikającą z niskiego współczynnika wnikańia ciepła z fazy gazowej do karkasu opony oraz niemożliwości pełnego wypełnienia reaktora wsadem.

Z drugiej strony taka technika pirolizy byłaby znacznie tańsza, nie wymagałaby dodatkowych inwestycji oraz upraszczałaby konstrukcję instalacji pirolitycznej.

Dostępność taniej linii do przeprowadzenia pirolizy opon może spowodować rozwój i upowszechnienie tej metody recyklingu opon, co pozwoli na pełną eliminację ze środowiska uciążliwego odpadu, jakim są zużyte opony.

Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe „Konmech” opracowało i realizuje próbę wdrożenia pilotażowej instalacji pirolitycznej wykorzystującej całe opony samochodów osobowych.

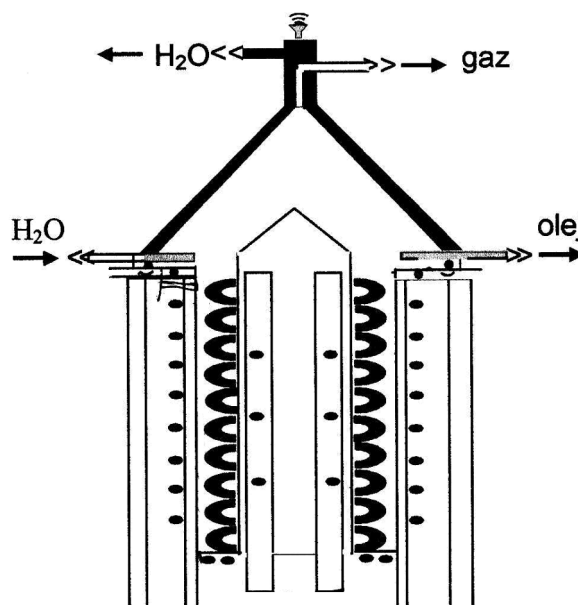
Instalacja do pirolizy zbudowana jest z modułów:

- pieca pirolitycznego z centralną komorą grzejącą,
- układu sterującego równomiernością pola grzewczego pieca,
- odbieralników produktów ciekłych i gazowych.

Parametry procesu tak dobrano, żeby uzyskać maksymalną ilość węglowodorów ciekłych i minimalną lotnych. Zakres temperatury, w którym zachodzi piroliza, wynosi 370-400°C. Łagodny kraking wyklucza możliwość powstawania niebezpiecznych węglowodorów pierścieniowych. Proces odbywa się całkowicie w szczelnej instalacji bez dostępu powietrza i przy niewielkim nadciśnieniu, co gwarantuje bezpieczeństwo pod względem wybuchowym. Wydobywający się gaz odcinany jest od gorącej części aparatu poprzez kilkukrotne zamknięcie wodne. Kopuła reaktora jest intensywnie chłodzona wodą, dzięki czemu następuje skraplanie frakcji olejowej, która zbiera się w odpowiednio skonstruowanym odpływie i jest odprowadzana do naczynia zbiorczego. Medium chłodzące – woda pracuje w układzie zamkniętym przy wymuszonej recyrkulacji, a odbierane ciepło przy chłodzeniu jest wykorzystywane do ogrzewania pomieszczeń.

Urządzenie pozwala na jednorazowe załadowanie 10 opon osobowych o maksymalnym rozmiarze R18. Z jednej opony o masie 6 kg uzyskuje się: 2,2 litra frakcji olejowej, 0,5 m³ gazu; 2,5 kg koksiku oraz 1 kg złomu metalowego. Czas trwania jednego cyklu wynosi około 2 h, całkowite zużycie energii elektrycznej w jednym cyklu wynosi około 35 kWh. Schemat reaktora do pirolizy opon przedstawiono na rysunku 1.

Oddział Zamiejscowy Elastomerów i Technologii Gumy w Piastowie Instytutu IMPiB w Toruniu wspólnie z firmą „Konmech” realizuje grant badawczo-rozwojowy dotyczący optymalizacji procesu, charakterystyki i walidacji produktów pirolizy. W niniejszej pracy



Rys.1. Schemat ideowy reaktora pirolitycznego
Fig. 1. The scheme of the pyrolytic reactor

zostaną przedstawione wyniki dotyczące aktywacji węgla popirolitycznego i właściwości sorbcyjnych aktywatu.

2. Wyniki badań i dyskusja

2.1. Materiał węglowy

Z jednego cyklu pirolitycznego wykorzystującego 14-calowe opony samochodów osobowych otrzymuje się obok substancji gazowych, ciekłych, stali 14-15 kg węgla o polidispersyjnym charakterze uziarnienia. Wielkość brył węglowych wynosi od części milimetra do kilkunastu centymetrów. Otrzymany węgiel jest poddawany prostej obróbce mechanicznej: mieleniu większych kawałków, separacji magnetycznej metalu oraz przesiewaniu.

Węgiel popirolityczny może mieć zastosowanie jako wypełniacz kauczuków, stosowany może być jako paliwo bezdymne oraz, po odpowiedniej obróbce aktywacyjnej, może pełnić rolę adsorbenta węglowego.

Do badań nad aktywacją materiału węglowego wykorzystano frakcję ziarnową węgla 1-2 mm. Wykonano badania wpływu temperatury i czasu karbonizacji węgla popirolitycznego na właściwości otrzymywanych produktów oraz wpływu aktywacji parą wodną otrzymanych karbonizatów na ich strukturę porowatą i właściwości sorpcyjne.

2.2. Karbonizacja i aktywacja węgla popirolitycznego

Węgiel popirolityczny poddano karbonizacji w atmosferze beztlenowej w strumieniu argonu w tempera-



turze: 500, 550, 600, 650 i 700°C, w czasie 1 h po uzyskaniu założonej temperatury, z szybkością nagrzewania 5°C/min. W procesie tym następuje spadek masy w miarę podwyższania temperatury. W efekcie procesów rozkładu substancji węglowej podczas karbonizacji zachodzi zmiana struktury porowatej, rozmiarów porów (średnicy i długości) oraz ich ilości. Prowadzi to do zwiększenia porowatości, zwiększenia objętości porów materiału i zmniejszenia jego gęstości nasypowej. Wyniki badań sorpcyjnych charakteryzujących strukturę porowatą karbonizatów, tj. dystrybucję objętości i powierzchni porów w funkcji ich średnicy metodą BJH przedstawiono w tabelach 1-5. Charakterystykę teksturalną próbek karbonizatów i aktywatorów określano z wykorzystaniem izoterm adsorpcji/desorpcji azotu w temperaturze jego kondensacji. Pomiary wykonywano za pomocą aparatu Autosorb 1C firmy Quantachrome. Powierzchnię określano zgodnie z teorią adsorpcji wielowarstwowej BET, rozkład rozmiarów porów oznaczano z krzywej desorpcji wykorzystując model BJH. Tabela 10 przedstawia zestawione wyniki badań w celu ułatwienia ich porównania.

Dalszą zmianę struktury porowatej karbonizatów uzyskiwano przez aktywację parą wodną. Wstępnie prowadzono dodatkową karbonizację aktywatorów otrzymanych w temperaturze 550 oraz 650°C. Próbki karbonizatów ogrzewano wstępnie w atmosferze azotu z szybkością 10 °C/min do temperatury końcowej 800 i 850°C. Czas wygrzewania próbek w temperaturze końcowej wynosił 15 min. Następnie wprowadzano czynnik zgazowujący – parę wodną i prowadzono aktywację w odpowiedniej temperaturze końcowej. Czas aktywacji wynosił odpowiednio 1 i 2 h.

Tabela 1. Dystrybucja objętości i powierzchni porów karbonizatów w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura karbonizacji 500°C

Table 1. The volume and area of pyrolytic carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH, the carbonization temperature 500°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
1,42	0,002	7,7
2,15	0,0088	20,6
3,04	0,015	29,6
4,23	0,02	35,2
6,49	0,023	37,6
9,34	0,028	39,7
12,1	0,034	41,6
16,9	0,060	47,8
31,1	0,18	63,2
156,5	0,48	70,8

Wyniki badań sorpcyjnych charakteryzujących strukturę porowatą aktywatorów, tj. dystrybucję objętości

i powierzchni porów w funkcji ich średnicy metodą BJH przedstawiono w tabelach 6-9. Zestawienie zbiorcze wyników przedstawia tabela 10.

Tabela 2. Dystrybucja objętości i powierzchni porów karbonizatów w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura karbonizacji 550°C

Table 2. The volume and area of pyrolytic carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH, the carbonization temperature 550°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
1,4	0,0015	4,53
2,16	0,0060	13,7
3,04	0,012	21,4
4,24	0,014	24,5
6,45	0,017	26,7
9,39	0,028	28,4
12,2	0,027	30,3
16,7	0,054	36,8
29,0	0,25	64,5
146,2	0,56	72,8

Tabela 3. Dystrybucja objętości i powierzchni porów karbonizatów w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura karbonizacji 600°C

Table 3. The volume and area of pyrolytic carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH, the carbonization temperature 600°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
1,42	0,0019	5,48
2,16	0,0097	232,0
3,02	0,018	34
4,28	0,023	40,68
6,39	0,029	45,04
9,41	0,036	48,16
12,1	0,045	50,8
17,3	0,067	55,92
29,4	0,272	83,84
1601,2	0,453	84,308

Węgiel popirolityczny jest materiałem mało porowatym, o praktycznie niemierzalnej powierzchni. Karbonizacja tego węgla zachodzi z utworzeniem i modyfikacją porów. W wyniku tego uzyskuje się materiał o dość dobrze rozwiniętej strukturze porowatej, mezo- i mikroporowatej, o stosunkowo dużej porowatości całkowitej, ale małej powierzchni właściwej (BJH) rzędu 50-84 m²/g. Badania dystrybucji objętości i po-





wierzchni porów karbonizatów w funkcji ich średnicy metodą BJH, tabele 1-5, wykazują, że prawie całkowita powierzchnia karbonizatu tworzona jest przez mezopory o rozmiarze średnic do około 30 nm, a ponad połowę całkowitej porowatości stanowią makropory. Rezultatem tego jest bardzo duży średni rozmiar porów rzędu 30 nm, co w sposób istotny odróżnia otrzymane karbonizaty od węgla aktywnego wytworzonego z węgla lub drewna.

Tabela 4. Dystrybucja objętości i powierzchni porów karbonizatów w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura karbonizacji 650°C

Table 4. The volume and area of pyrolytic carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH, the carbonization temperature 650°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
1,42	0,0	0,00
2,14	0,004	8,1
3,03	0,008	14,6
4,2	0,01	17,5
6,41	0,013	19,5
9,41	0,016	20,9
12,0	0,02	22,4
16,9	0,031	25,0
30,7	0,196	47,0
143,5	0,436	54,0

Tabela 5. Dystrybucja objętości i powierzchni porów karbonizatów w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura karbonizacji 700°C

Table 5. The volume and area of pyrolytic carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH, the carbonization temperature 700°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
1,43	0,0	0,00
2,14	0,004	10,1
3,02	0,01	19,5
4,28	0,018	27,1
6,51	0,026	33,0
9,32	0,029	34,6
12,1	0,038	37,4
17,1	0,062	43,1
31,2	0,182	58,4
817,4	0,550	60,2

Aktywacja w sposób istotny zmienia strukturę porowatą karbonizatów. Dane w tabeli 10 pokazują, że znacznie zwiększa się powierzchnia właściwa (powy-

żej 350 m²/g), a porowatość całkowita zwiększa się prawie dwukrotnie od 0,75 do 0,95 cm³/g. W karbonizatach, podobnie jak i w aktywatach, tabele 1-9, około 90% powierzchni całkowitej tworzą pory o średnicy do 30 nm, a 50-70% objętości tworzą mezopory i makropory o średnicy większej niż 30 nm. Znaczące zwiększenie powierzchni porów przy umiarkowanym zwiększeniu porowatości wskazuje, że w porównaniu z karbonizatami aktywaty mają wyraźnie mniejszy średni rozmiar porów, około 10 nm, tabela 10.

Tabela 6. Dystrybucja objętości i powierzchni porów aktywatu w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura aktywacji 850°C, 1 h, karbonizat uzyskany w 550°C

Table 6. The volume and area of activated carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH; the activation parameters: 850°C, 2 h; carbonization temperature 550°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
1,14	0,0148	42,5
1,9	0,029	74,4
2,45	0,042	97,0
3,0	0,053	112,7
4,2	0,067	127,7
5,5	0,08	137,6
9,4	0,11	153,4
16,8	0,144	162
30,4	0,27	178,4
143,9	0,755	191,9

Tabela 7. Dystrybucja objętości i powierzchni porów aktywatu w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura aktywacji 800°C, 2h, karbonizat uzyskany w 550°C

Table 7. The volume and area of activated carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH; the activation parameters: 800°C, 2 h; carbonization temperature 550°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
1,39	0,0175	50,4
1,92	0,035	90,3
2,7	0,052	118,0
3,8	0,071	141,2
5,5	0,083	151
7,6	0,1	160,8
12,2	0,128	171,0
17,1	0,15	176,8
31	0,257	190,3
325	0,823	197,3





Tabela 8. Dystrybucja objętości i powierzchni porów aktywatu w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura aktywacji 850°C, 2h, karbonizat uzyskany w 550°C

Table 8. The volume and area of activated carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH; the activation parameters: 850°C, 2 h; the carbonization temperature 550°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
1,42	0,0333	93,9
1,93	0,071	192
2,42	0,097	228,4
3,02	0,110	246,2
4,28	0,131	267,5
7,55	0,163	288,8
12,2	0,199	301,7
17,0	0,0258	315,5
28,7	0,451	342,4
142,7	0,94	356,1

Duża porowatość przy znaczącym udziale porów o dużych rozmiarach wskazuje, że z punktu widzenia zastosowania praktycznego są to materiały potencjalnie nadające się do usuwania dużych cząsteczek z roztworów wodnych ścieków.

Najsilniej rozwiniętą powierzchnię, ponad 600 m²/g wg metody BET, stwierdzono w przypadku próbki aktywowanej w temperaturze 850°C przez 2 h.

Aktywaty wytworzone w niższej temperaturze 800°C i w wyższej 900°C przez 2 h charakteryzowały się wyraźnie mniejszą powierzchnią właściwą niż wytworzone w temperaturze 850°C przez 2 h. Warunki aktywacji: 2 h w temperaturze 850°C można uznać za optymalne.

Tabela 9. Dystrybucja objętości i powierzchni porów aktywatu w funkcji ich średnicy metodą BJH, temperatura aktywacji 900°C, 2 h, karbonizat uzyskany w 550°C

Table 9. The volume and area of activated carbon porous distribution as a function of their diameters measured by method BJH; the activation parameters: 900°C, 2; the carbonization temperature 550°C

Średnica porów (nm) do:	Objętość porów, cm ³ /g	Powierzchnia porów, m ² /g
2,96	0,0094	12,64
3,5	0,067	81,3
4,4	0,091	106,7
5,7	0,101	112,4
8,1	0,113	121
11,5	0,129	127,3
18,9	0,176	138,7
31,3	0,28	15,9
48,6	0,51	173,6
80,49	0,88	191,9
184,4	0,948	193,4

Tabela 10. Porównanie struktury porowatej wytworzonych karbonizatów i aktywatów

Table 10. Comparison porous structure of the pyrolytic carbon and activated carbon

	Powierzchnia BET, m ² /g	Powierzchnia BJH, m ² /g	Objętość porów, BJH, cm ³ /g	Dominujący promień porów, BJH, nm	Średni promień porów, nm
Karbonizaty					
Karbonizacja 500°C	66,3	70,9	0,48	1,42	28,9
Karbonizacja 500°C	76,28	72,8	0,55	2,9	29,4
Karbonizacja 600°C	97,4	84,3	0,45	1,68	18,8
Karbonizacja 650°C	52,1	51,6	0,44	3,01	33,9
Karbonizacja 700°C	62,9	60,2	0,54	1,67	35
Aktywaty					
Karbonizacja 550°C Aktywacja 850°C, 1 h	370	191,9	0,75	1,4	9,0
Karbonizacja 550°C Aktywacja 800°C, 2 h	344,1	197,3	0,824	1,39	10,3
Karbonizacja 550°C Aktywacja 850°C, 2 h	632,2	356,1	0,94	1,42	6,75
Karbonizacja 550°C Aktywacja 900°C	481,8	193,4	0,93	3,5	9,2



2.3. Badanie skuteczności usuwania zanieczyszczeń z roztworów wodnych

Zbadano skuteczność oczyszczania roztworów czerwieni Kongo, błękitu metylenowego, benzenu i *p*-chlorofenolu przez otrzymane karbonizaty i aktywaty.

Równowagowe czasy adsorpcji

Zbadano skuteczność oczyszczania roztworów czerwieni Kongo, błękitu metylenowego, benzenu i *p*-chlorofenolu. Wyniki badań wpływu czasu wytrząsania na skuteczność oczyszczania roztworów przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Do badań wybrano próbkę aktywatu otrzymaną w temperaturze 850°C w czasie 1 h, wstępna karbonizacja wykonana była w temperaturze 550°C.

Wraz z wydłużeniem czasu wytrząsania skuteczność oczyszczania badanych roztworów rośnie do osiągnięcia stanu równowagi. Długość czasu kontaktu sorbenta z roztworem usuwanego reagenta świadczy więc o jego skuteczności. W przypadku błękitu metylenowego (rys. 2) adsorpcja zachodzi dosyć szybko, równowaga ustala się już po 4 h, czerwień Kongo adsorbuje

się jednak powoli i dopiero po 48 h ustala się równowaga. Uzyskiwany poziom adsorpcji obydwóch barwników kształtuje się na umiarkowanym 60-proc. poziomie.

Adsorpcja chlorofenolu ustala się dosyć szybko (rys. 3), a poziom usunięcia reagenta z roztworu kształtuje się na podobnym poziomie, co barwników.

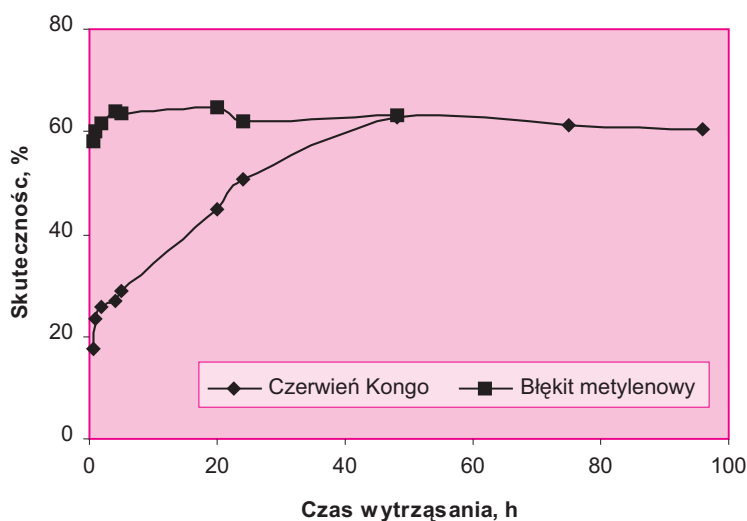
Bardzo skutecznie za to jest absorbowany benzen, już po kilkunastu minutach uzyskuje się ponad 90-proc. poziom adsorpcji, po 4 h następuje jeszcze niewielkie zwiększenie adsorpcji do 95%.

Wpływ parametrów obróbki termicznej, karbonizacji i aktywacji na zdolności sorpcyjne

Zbadano skuteczność oczyszczania *p*-chlorofenolu, benzenu i błękitu metylenowego przez węgiel wyjściowy, karbonizaty, produkty ich aktywacji i porównywano ze skutecznością dostępnych w handlu gatunków węgla aktywnego, rys. 4.

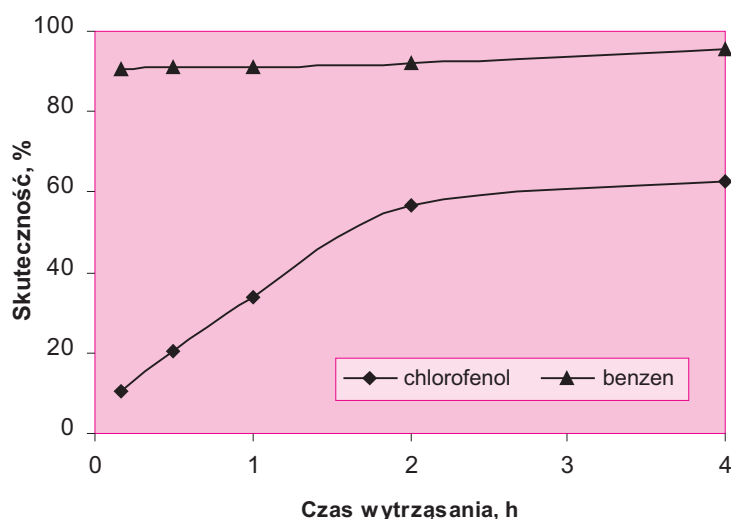
Pirolizat praktycznie nie adsorbuje błękitu metylenowego, karbonizaty wytworzone w zakresie temperatury 500-700°C oczyszczają jego roztwory w granicach około 10%.

Produkty aktywacji karbonizatów dosyć skutecznie oczyszczają roztwory błękitu, a skuteczność ich



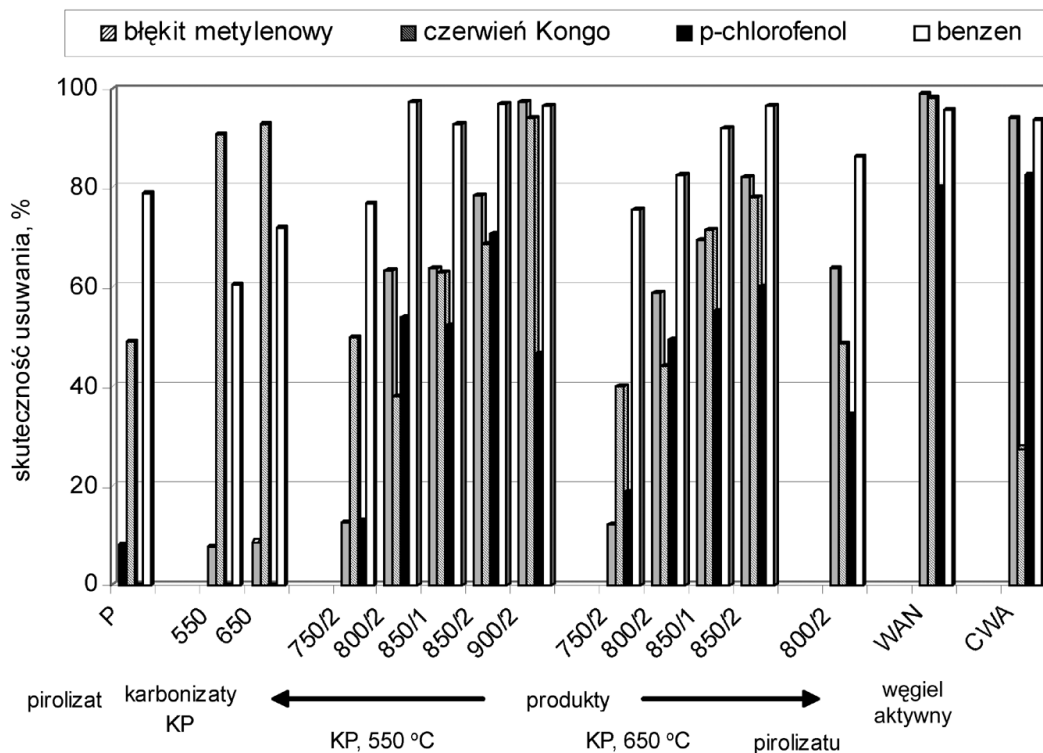
Rys. 2. Wpływ czasu adsorpcji na skuteczność oczyszczania roztworu czerwieni Kongo i błękitu metylenowego przez próbkę aktywatu

Fig. 2. Influence of adsorption time on purification efficiency of Congo Red and Methylene Blue by the sample of activated pyrolytic carbon from water solutions



Rys. 3. Wpływ czasu adsorpcji na skuteczność oczyszczania chlorofenolu i benzenu przez próbkę aktywatu

Fig. 3. Influence of adsorption time on purification efficiency of chlorophenol and benzene water solutions by the sample of activated pyrolytic carbon



Rys. 4. Skuteczność usuwania błękitu metylenowego, czerwieni Kongo, *p*-chlorofenolu i benzenu z roztworów wodnych przez pirolizat opon, produkty jego karbonizacji i aktywacji oraz dla porównania przez dostępne w handlu gatunki węgla aktywnego

Fig. 4. The purification efficiency of Methylene Blue, Kongo Red, *p*-chlorophenol and benzene water solutions by the pyrolytic carbon, the carbonized pyrolytic carbon, the activated pyrolytic carbon and commercial active carbons.

działania zwiększała się z podwyższaniem temperatury i wydłużaniem czasu aktywacji. Temperatura wytwarzania karbonizatów (550°C lub 650°C) nie ma wpływu na efektywność adsorpcyjną aktywatorów.

Benzen jest najlepiej adsorbowanym adsorbentem z roztworów wodnych. Wszystkie produkty aktywacji para wodna oczyszczały roztwór w 92-97%, pirolizat i karbonizat nieco słabiej, ale również skutecznie (75-80%). Temperatura wytworzonych karbonizatów, podobnie jak poprzednio, nie ma wpływu na skuteczność adsorpcji.

p-Chlorofenol jest adsorbowany zarówno przez pirolizat, jak i karbonizat na poziomie 3,5% wag. Aktywacja parą wodną zwiększyła zdolności sorpcyjne i w przypadku aktywatu o najlepiej rozwiniętej powierzchni (850°C/2 h) stopień oczyszczenia *p*-chlorofenolu z roztworu nie przekroczył 70%. W tym przypadku temperatura karbonizacji poprzedzająca aktywację nie miała wpływu na właściwości sorpcyjne.

3. Wnioski

W wyniku niskotemperaturowej pirolizy całych opon samochodów osobowych otrzymuje się nieporowatą pozostałość węglową. Poddanie jej karbonizacji w atmosferze beztlenowej pozwala uzyskać rozwinięcie powierzchni właściwej do 50-80 m²/g, porowatość całkowita wzrasta do 0,4-0,54 cm³/g.

Aktywacja karbonizatów zwiększa rozwinięcie struktury porowatej do ponad 300 m²/g i całkowitej objętości porów od 0,75 cm³/g do 0,9 cm³/g.

Benzen był najskuteczniej usuwanym adsorbentem z roztworów wodnych.

Pirolizat praktycznie nie adsorbuje błękitu metylenowego oraz *p*-chlorofenolu, karbonizaty adsorbują je w niewielkim stopniu. Aktywaty skuteczniej adsorbują błękit metylenowy (40-60%) oraz *p*-chlorofenol (60-95%), skuteczność adsorpcji rośnie z podwyższeniem temperatury i wydłużeniem czasu ich aktywacji.

Badania zostały wykonane jako usługa przez prof. Jerzego Walendziewskiego z Politechniki Wrocławskiej w Zakładzie Chemii i Technologii Paliw.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy rozwojowy

Literatura

1. Anonim, *China is world's leasing tire expor*. *Rubber World* 1998, 218, nr 2, 18
2. *Praca zbiorowa, Tyre Recycling After 2000: Status and Options*, Valerie L. Shulman, Etra Publication 2000, s. 11
3. Murena F., Garufi E., Smith R.B., Giola F.: *Journal of Hazardous Materials*, 1996, 50, s. 79
4. Williams P. T., Taylor D. T., *Fuel*, 1993, 72, s.1469





5. Benallal B., Roy C., Pakdel H., Chabot S., Poirier M.A.: *Fuel*, 1995, 74, s. 1589
6. Williams P.T., Besler S., Taylor D. T.: *Fuel*, 1990, 69, 12, s. 1474
7. Napoli A., Soudais Y., Lecomte D., Castillo S.: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 1997, 40-41, s. 373
8. Roy C., Rastegar A., Kaliaguine S., Darmstadt H.: *Plastic Rubber and Composites Processing and Applications*, 1995, 23, s. 21
9. Chaala A., Roy C.: *Fuel Processing Technology*, 1996, 46, s. 227
10. Pakdel H., Pantea D. M., Roy C.: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2001, 57, 1, s. 91
11. Mastral A. M., Murillo R., Callen M. S., Garcia T.: *Resources, Conservation & Recycling*, 2000, 29, s. 263
12. Chen D. T., Perman C. A., Riechert M. E., Hoven J.: *Journal of Hazardous Materials*, 1995, 44, s. 53
13. Dhawan J.C., Legendre R. C., Benesath A. F., Davis R. M.: *J. Superkritical Fluids*, 1991, 4, 3 s. 160
14. Funazukuri T., Takahashi T., Wakao N.: *J. Chem. Eng. Japa*, 1987, 20, s. 23
15. Chen F., Qian J.: *Waste Management*, 2003, 23, s. 463
16. Benallal B., Roy C., Chabet S., Poirier M. A.: *Fuel*, 1995, 74, 11, s. 1589
17. Roy C., Chaala A., Darmstadt H.: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 1999, 51, s. 201
18. Laresgaiti M. F., Caballero B. M., de Marco I., Torres A., Cabrero M.A., Cahmon M. J.: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2004, 71, 917
19. Tang L., Huang H.: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2004, 72, s. 35

Nowości wydawnicze

„Specjalne metody wtryskiwania tworzyw polimerowych”

Książka autorstwa Elżbiety Bociągi
Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008
ISBN 978-83-204-3425-5, 210 stron



Książka składa się z siedmiu rozdziałów poprzedzonych *Przedmową* autorstwa prof. dra hab. inż. Roberta Sikory, który ocenia przedstawianą pozycję jako najbardziej aktualną z tego zakresu w literaturze światowej.

Podano w niej m.in. klasyfikację specjalnych metod wtryskiwania oraz opisano metody wtryskiwania, w tym:

- wtryskiwanie z wprowadzeniem dodatkowych materiałów lub elementów,
- wtryskiwanie tworzyw zmieszanych z innymi materiałami,
- wtryskiwanie z różnym przepływem tworzywa w formie,
- wtryskiwanie z ruchem podzespołów formy,
- wytwarzanie wyrobów o szczególnych cechach geometrycznych – mikrowtryskiwanie, wtryskiwanie cienkościenne.

Na końcu książki zamieszczono wykaz skrótów nazw polimerów oraz skorowidz specjalnych metod wtryskiwania.

Książka zawiera schematy przebiegu procesów oraz urządzeń, zdjęcia nowoczesnych wtryskarek i ich oprzyrządowania. Można w niej również znaleźć informacje uzyskane na podstawie badań i doświadczeń przeprowadzonych przez Autorkę.

Wydawnictwa Naukowo-Techniczne polecają tę książkę studentom uczelni technicznych, słuchaczom studiów doktoranckich oraz pracownikom naukowym zajmującym się zagadnieniami przetwórstwa tworzyw polimerowych. Może być również przydatna w pracy projektantów i technologów zatrudnionych w przemyśle.

Beata Jaśkiewicz

